

Memoria de la BECA DE FORMACION del Proyecto:  
“DESARROLLO DE SERVICIOS AGROMETEOROLÓGICOS”  
Sistema de predicción de cosechas  
AEMET - Agencia Española de Meteorología

Autor: Lorenzo Rodríguez Magaz

Dirigido por: María Nieves Garrido Del Pozo

## INDICE

1. Introducción general.
  - 1.1. Objetivos.
2. Descripción del proyecto.
  - 2.1. Introducción.
  - 2.2. Descripción técnica del proyecto: 1ª Fase.
    - 2.2.1. Información inicial.
    - 2.2.2. Estimación de recursos.
    - 2.2.3. Planificación de tareas y cronograma.
    - 2.2.4. Procesos y actividades intermedias de la 1ª Fase
    - 2.2.5. Procesos y actividades intermedias de la 2ª Fase
    - 2.2.6. Resultado final.
    - 2.2.6. Aplicación práctica.
3. Conclusiones.
4. Extensiones del proyecto: 2ª Fase.
5. Agradecimientos.
6. Bibliografía.
7. Anexos.

## 1 Introducción general.

El clima junto con el suelo y el material vegetal es el principal factor productivo del sistema agrario. El objetivo de esta beca es el estudio para desarrollo de productos meteorológicos avanzados que faciliten la toma de decisiones en el sector agrícola. Dentro de este marco se está desarrollando la metodología para la elaboración de un sistema de predicción de cosechas de cereal en Castilla y León basado en la ejecución de un modelo agronómico convenientemente calibrado en todo el territorio.

La estimación de los rendimientos que se obtienen en cada campaña agrícola tiene un importante valor en la cadena de producción-comercialización de cereales por lo que desde hace décadas se elaboran desde los servicios de estadística agraria avances de producción que son remitidos al Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente. Tradicionalmente estos avances se han realizado mediante la integración del conocimiento local mediante las Comisiones Provinciales de Estadística, órgano colegiado donde además de la Consejería de Agricultura y Ganadería, tienen representación las Organizaciones Profesionales Agrarias con representatividad provincial. El método de estimación se basa en la agregación del conocimiento local de los interlocutores, que en algunos casos pudiera estar sesgado por diversos intereses o afecto de una falta de visión global en un territorio tan amplio. Si bien es cierto que esta metodología tiene el valor de la experiencia, no lo es menos que, estadísticamente hablando, carece de objetividad y, ni mucho menos, es una metodología reproducible. En 2013 la Consejería de Agricultura y Ganadería puso en marcha un sistema de muestreo de parcelas en toda la Comunidad para determinar los rendimientos, con el fin de dotar a las Comisiones Provinciales de Estadística de una herramienta objetiva que ayudara a la fijación de estos rendimientos y producciones, en base a criterios más objetivos y técnicos. El principal inconveniente de este sistema es que los resultados se obtienen en el momento de la cosecha, lo que no permite hacer estimaciones previas. Por ello la Agencia Estatal de Meteorología junto con el ITACyL dentro del acuerdo marco de colaboración y en coordinación con la Secretaría General de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León puso en marcha en 2015 un sistema de predicción de cosecha de cereales basado en datos meteorológicos del año en curso y usando escenarios climáticos de años pasados hasta el final del ciclo del cultivo para obtener un conjunto de posibles cosechas finales que son procesadas y agregadas estadísticamente.

### 1.1 Objetivos.

El método pretende ser una herramienta de carácter científico-técnica, objetiva, reproducible e independiente que provea de información sobre los rendimientos esperados al sector primario. El principal objetivo es encontrar un sistema para la estimación del rendimiento del cereal en Castilla y León, principalmente trigo y cebada de secano, para lo cual se realiza la calibración y obtención de resultados de este sistema de predicción de cosechas. Con los resultados obtenidos se elabora y divulga un Boletín informativo de carácter quincenal desde el 1 de abril hasta el 30 de junio (final de cosecha).

Otros objetivos secundarios son:

- Preparación de datos de suelo, clima y cultivo (fenología) para toda Castilla y León, realizado por el ITACyL.
- Calibración del modelo por medio de ajustes por regresión para 8 provincias de Castilla y León.
- Desarrollo de un módulo de ejecución durante la campaña 2015.
- Agrupación de los resultados empleando la metodología ESYRCE.

## 2 Descripción del proyecto.

### 2.1 Antecedentes y descripción general.

Castilla y León es una región caracterizada por su gran extensión geográfica en la que la agricultura, la ganadería y el medio ambiente tienen un gran peso en la economía regional. Desde un punto de vista agrícola, el clima constituye uno de los principales factores productivos junto con el suelo y las prácticas culturales desarrolladas por los agricultores (variedades cultivadas, fertilizantes, laboreo, etc.). Todos los factores excepto la meteorología son manejables por el agricultor o al menos tienen un carácter permanente y previsible como el caso del suelo. La atmósfera es caótica e imprevisible y constituye el principal factor que incide sobre la variabilidad de las producciones. La península ibérica se sitúa en una latitud media dentro de una zona de alta variabilidad climática. Si bien esta situación hace que las estaciones que se van a utilizar como fuente de datos poseen marcados rasgos en cuanto a los regímenes de temperatura, el volumen de las precipitaciones es extremadamente variable en la serie histórica. La precipitación media en Castilla y León es de unos 650 mm, aunque existe una gran oscilación de unas zonas a otras. La precipitación en la meseta apenas alcanza los 400 mm, mientras que superan los 600 mm en las cuencas periféricas y los 1000 mm en las zonas de montaña del norte. En las zonas llanas, donde se concentra la mayor producción de cereales.

El sistema que se quiere desarrollar se basa en la ejecución de un modelo agronómico convenientemente calibrado en todo el territorio teniendo en cuenta todo lo expuesto. Se simulará el crecimiento diario del trigo y la cebada con datos meteorológicos reales hasta la fecha de emisión de un boletín informativo y se usarán escenarios climáticos de años pasados hasta el final del ciclo del cultivo para obtener un conjunto de posibles cosechas finales que serán procesadas y agregadas estadísticamente. Los resultados serán mostrados en unos boletines de periodicidad quincenal a lo largo de la primavera.

## 2.2 Planificación de tareas y cronograma del proyecto.

El proyecto se ha dividido en dos fases y a su vez cada fase en varias tareas a realizar ordenadas temporalmente:

- **1ª Fase:** Desde el 1 Enero al 31 de Diciembre de 2015.
- **2ª Fase:** Desde el 1 Enero al 31 de Diciembre de 2016.

### 1. Tareas de la primera Fase:

- Elección del modelo de predicción de cosechas y diseño del sistema de predicción.
- Estudio y definición del tipo de datos necesarios.
- Estimación e instalación de recursos computacionales.
- Instalación del modelo de predicción de cosechas AquaCrop
- Instalación y configuración de base de datos.
- Desarrollo de una aplicación para planificación y preparación de datos.
- Creación de scripts para la carga de datos
- Calibración del modelo agronómico con datos iniciales.
- Calibración del modelo para la provincia de Valladolid
- Ejecución del modelo
- Estudio de los resultados obtenidos.
- Análisis estadístico
- Emisión del primer Boletín informativo de 2015.

### 2. Tareas de la segunda Fase:

- Migración del sistema de predicción a Linux Ubuntu Server en cluster.
- Migración y normalización de base de datos de SQLite a MySQL.
- Creación de scripts de procesado de datos y gestión de cluster.
- Automatización del sistema de predicción.
- Hacer predicciones comarcales o municipales.
- Introducir datos de predicción a 10 días.
- Cambiar localización por segmentos a puntos de rejilla.
- Posibilidad de utilizar otros modelos agronómicos en un ensemble.

- Interpolar datos climáticos.
- Incorporar más datos de estaciones de AEMET.
- Interpolar datos de suelos y mejorar su uso en la calibración.
- Desarrollo de una aplicación para el control de calidad de datos asimilados.
- Producir mapas de predicción de cosecha y publicarlos a través de internet en un visor Web.

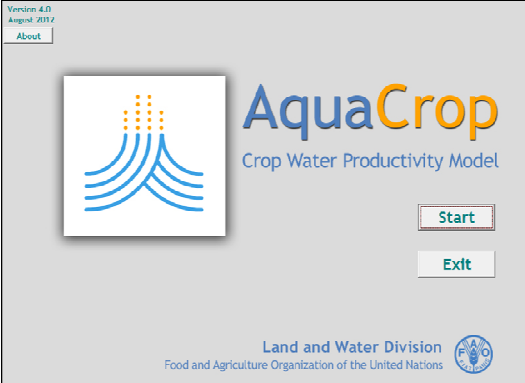
## 2.3 Tareas de la primera Fase.

### 2.3.1 Elección del modelo de predicción de cosechas y diseño del sistema de predicción.

Después de estudiar las diferentes metodologías en cuanto a modelos de predicción de rendimientos de cosecha existentes se refiere, se ha seleccionado el modelo AquaCrop de la FAO por cumplir todos los requisitos necesarios para poder llevar a cabo este proyecto. Simula la respuesta al agua de los cultivos herbáceos, es adecuado para aquellos lugares y cultivos donde el agua es un factor limitante, como es el caso de los cereales de invierno de secano en Castilla y León.

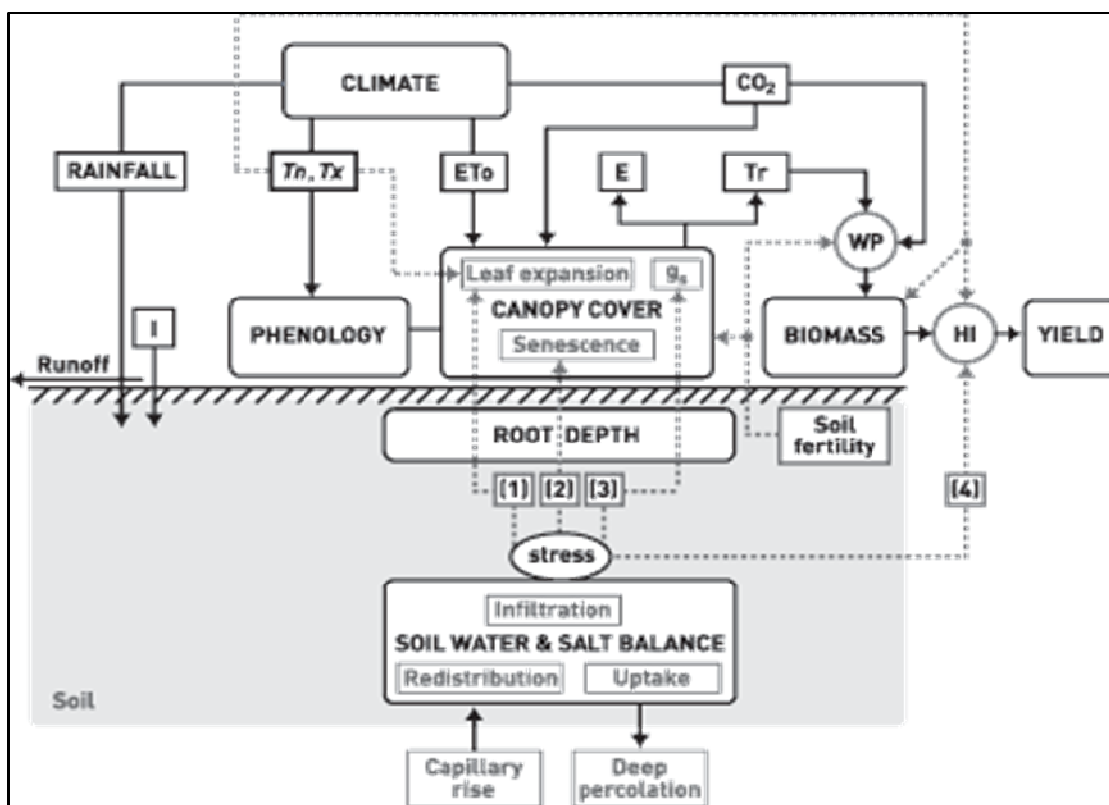
AquaCrop intenta equilibrar la precisión, simplicidad y robustez. Se utiliza un número relativamente pequeño de parámetros explícitos y en su mayoría intuitivos y variables de entrada que requieren métodos simples para su determinación.

La metodología por tanto emplea como estimador principal los resultados del modelo agronómico Aquacrop (FAO) que es ejecutado en una rejilla regular de unos 2 km.

|   |   |
|---|---|
|  | <p>Para la ejecución y calibración del modelo se emplean datos de suelos procedentes de la base de datos de los Suelos de Castilla y León (ITACyL), datos agroclimáticos de la red de estaciones de AEMET junto con SIAR (Inforiego, ITACyL), datos de ensayos de variedades vegetales (GENVCE, ITACyL) y datos de la Encuesta de Superficies y Rendimientos de España (ESYRCE, MAGRAMA y JCyL). Es necesario desarrollar scripts para el tratamiento de los datos.</p> |
|---|---|

AquaCrop incluye los siguientes componentes: el suelo, con su balance hídrico; la cosecha, con su desarrollo, crecimiento y rendimiento; la atmósfera, con su concentración régimen térmico, las precipitaciones, la demanda evaporativa y CO<sub>2</sub>; y de la gestión, con su gran práctica agronómica como el riego y la fertilización.

El diagrama de flujo AquaCrop se muestra a continuación:



**Fig. 1.** Esquema general de funcionamiento del modelo AquaCrop de la FAO.

El modelo Aquacrop es un software que simula el desarrollo de un cultivo en una ubicación determinada día a día. Es un modelo unidimensional. Para su funcionamiento requiere de multitud de parámetros y datos diarios que condicionan el cultivo. Los más importantes son: la climatología (definida a través de los datos de la red de estaciones meteorológicas automáticas de AEMET y de InfoRiego, ITACyL), las características del suelo (obtenidas a partir de la base de datos de suelos del ITACyL) y la fenología del cultivo (fechas en las que se producen los cambios en los ciclos del cultivo como la nascencia, floración, obtenidas a partir de las redes de ensayos de campo de cereales del ITACyL).

El método de predicción de cosecha se basa en la simulación del cultivo de trigo y cebada en secano utilizando el modelo agronómico AquaCrop versión 4.0 de la F.A.O. (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

### 2.3.2 Estudio y definición del tipo de datos necesarios

Se necesita realizar una primera recopilación y preparación de los datos necesarios para introducirlos posteriormente al modelo de predicción de cosechas. Los datos son tanto meteorológicos como agronómicos.

El tipo y características especiales de estos datos son:

- **Datos de suelos:** La principal fuente de variabilidad anual y espacial en los rendimientos de secano es la disponibilidad de agua en el suelo. Esta disponibilidad está condicionada por la capacidad de retención de agua de cada suelo y el régimen de precipitación local. La textura y estructura del suelo permiten estimar esta capacidad y dan una idea de la cantidad de agua que las plantas podrían extraer y por lo tanto, de su rendimiento potencial. En el marco de este proyecto, se han elaborado mapas Ráster mediante técnicas geoestadísticas. Son mapas ráster de textura y materia orgánica que tienen una doble utilidad: por una parte son datos de entrada en el sistema y por otra, son el punto de partida para la obtención de los mapas de características hídricas de los suelos. Posteriormente la relación de la precipitación con estas características será muy importante. Para la creación de cada uno de estos mapas se han utilizado datos de análisis de laboratorio de 11.373 puntos geo-referenciados procedentes de la Base de datos de suelos de Castilla y León (los datos proceden de diversas fuentes). Se puede encontrar más información sobre esta Base de Datos en la página web (<http://suelos.itacyl.es>). En resumen se obtuvieron los siguientes mapas con una resolución espacial de 1 km:
  - Contenido en materia orgánica del suelo.
  - Textura (contenido en arena, limo y arcilla).
  - Humedad del suelo en saturación.
  - Humedad del suelo en capacidad de campo.
  - Humedad del suelo en punto de marchitez.
  - Capacidad de retención de agua del suelo.
  - Permeabilidad del suelo.
- **Datos diarios de temperatura, precipitación y evapotranspiración:** Este último dato es el más complejo de obtener puesto que es una variable compleja que aglutina, por una parte, las pérdidas de agua por evaporación del suelo y la superficie de las plantas y, por otra, la transpiración que estas realizan fruto de su proceso de respiración natural y su función fotosintética. La estimación de este parámetro es compleja y a lo largo del siglo XX se han seguido diversas estrategias. La publicación del cuaderno de FAO-56 definió el procedimiento con una estandarización de la ecuación de Penman-Monteith que ha sido internacionalmente aceptada. Este cálculo basado en un balance de energía, requiere de la disponibilidad de gran cantidad de datos meteorológicos que actualmente sólo están disponibles en la red SIAR de estaciones automáticas que en Castilla y León administra el ITACyL a través del sistema de asesoramiento al regante ([www.InfoRiego.org](http://www.InfoRiego.org)). Esta red de estaciones fue implantada a lo largo de los años 2001 y 2002, aunque con posterioridad se han ido incorporando más estaciones hasta llegar actualmente a 53. Para la calibración del modelo y para proyectar los resultados hasta el final de la campaña se han incorporado y depurado los datos diarios de toda la red desde el año 2003 hasta 2015. El trabajo de depuración de errores y rellenado de huecos ha sido laborioso.
- **Datos fenológicos de ensayos de variedades:** La determinación de las fechas fenológicas (siembra, nascencia, floración, madurez y recolección) es clave para conseguir que los eventos meteorológicos adversos que afectan a las cosechas tengan un efecto equivalente en la ejecución del modelo en el ordenador. Para asignar las



fechas medias en las que se producen estos eventos fenológicos se han utilizado los registros de los ensayos realizados por el ITACyL en el marco de los ensayos del Grupo para la Evaluación de Nuevas Variedades de Cultivos Extensivos en España (GENVCE). Los resultados de los cuadernos de campo de los años 2004-2015 tanto para trigo como para cebada fueron resumidos en dos calendarios tipo promedio para trigo y para cebada.

- **Datos de aforo en campo:** Con el objeto de realizar una correcta calibración del modelo agronómico es necesario disponer de datos reales de cosecha en campo. Estos datos reales nos permiten establecer una relación entre las estimaciones del modelo y la realidad y a partir de esa relación utilizar el modelo como herramienta de proyección de la futura realidad. Los datos de campo que se han empleado proceden de las Encuestas de Superficies y Rendimientos de España (ESYRCE) que realiza anualmente el MAGRAMA y la Junta de Castilla y León. Para el proceso de calibración se han empleado datos de 53.577 aforos en campo realizados en 3.445 ubicaciones durante las campañas que van desde el año 2004 al 2014. En todos los casos se han obtenido relaciones lineales entre la estimación del modelo y la realidad plasmada por los aforos. Se han obtenido relaciones diferentes para cada comarca cerealista y un conjunto de relaciones provinciales para usar en comarcas donde el cultivo del cereal es minoritario y no existían datos suficientes para hacer una calibración comarcal.

### 2.3.3 Estimación e instalación de recursos computacionales.

AquaCrop necesita un entorno Windows para su instalación y funcionamiento. Para el tratamiento de los datos de entrada a fin de alimentar de forma automática y constante al modelo e igualmente para la gestión de los resultados, es preciso usar una base de datos y desarrollar además una aplicación en lenguaje Python para planificar y gestionar diversas tareas necesarias.

En cuanto al sistema operativo, se ha optado por una plataforma Linux (Ubuntu Server V.14) sobre la que se ha instalado un framework (Wine) que hace posible utilizar AquaCrop V.4.

En esta primera fase se han empleado equipos informáticos de escritorio, mas apropiados para tareas ofimáticas, pero que han cumplido su cometido en un primer momento. En la segunda fase estos recursos computacionales han sido insuficientes y se ha migrado a un sistema en clúster.

### 2.3.4 Diseño y creación de la base de datos. Modelo de datos

Se crea una base de datos meteorológicos y agronómicos de partida utilizando SQLITE sobre Python: ModelosAgronomicos.sqlite con las siguientes tablas en base a cada tipo de datos:

- ALF\_Clima: Son los datos meteorológicos de las estaciones de inforiego de toda la comunidad con datos desde el año 2003 hasta octubre de 2014. Sólo las variables Temperatura Máxima, Temperatura mínima, ETo y Pluviometría.

- GEO\_Estaciones\_PTO: Las Estaciones de inforriego, con su identificador, su nombre y su localización
- GEO\_Segmentos\_POLI: tabla de segmentos el campo D2\_NUM es el identificador único de cada segmento.
- GEO\_Suelos\_PTO: Puntos de las muestras de suelo. Entre otra mucha información está el identificador de la muestra y las características texturales.

Las tres últimas tablas tienen el prefijo “GEO” y son geográficas, es decir se podrían añadir a un SIG como por ejemplo QGIS y visualizar su posición.

Los datos iniciales utilizados para usar con el modelo de predicción son:

- Datos de estaciones meteorológicas: los ficheros de clima (temperaturas, pluviometría y ETo) de AquaCrop para las estaciones que se utilizan como fuente de datos.
- CebadaITACYL.CRO y TrigoITACYL.CRO que son los ficheros con datos de cultivo de AquaCrop
- SoilEstVall.csv es un fichero principal para la ejecución del Script de Python necesario para correr el modelo. Es la relación de segmentos con sus características texturales. Es el fichero que lee el script de Python para generar el fichero de Suelo de AquaCrop.

Plantillas de datos utilizadas con el modelo:

- Plantilla.SOL: Fichero de plantilla de suelo. Dentro de este fichero hay una serie de caracteres “comodín” que son los que busca y sustituye el script de Python para generar el fichero de suelo correspondiente a cada segmento.
- VA05.TPRO: Fichero plantilla del proyecto de AquaCrop. Al igual que el anterior tiene una serie de caracteres “comodín” que se van sustituyendo en cada ejecución.

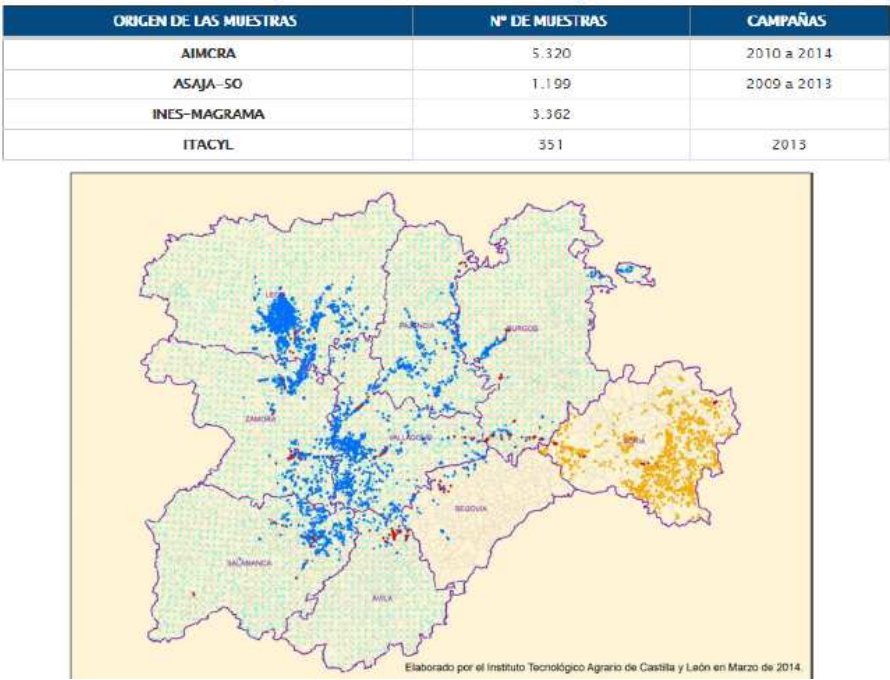
Introducción de datos de suelo y parámetros de cultivo en AquaCrop:

The screenshot shows the AquaCrop software interface. The 'Environment and Crop' window is open, displaying various configuration options. The 'Soil' section is highlighted with a red circle, and a red arrow points from it to a detailed soil profile table. The table lists parameters for sandy soils, including Thickness, Sat, FC, WP, Xsat, CRA, CRD, and a description.

| Thickness (m) | Sat    | FC (vol %) | WP   | Xsat (mm/day) | CRA   | CRD   | description |
|---------------|--------|------------|------|---------------|-------|-------|-------------|
| 1.50          | #boot# | #FC#       | #WP# | #Xsat#        | #CRA# | #CRD# | sandy soils |

**Fig. 2.** Formulario de configuración inicial de AquaCrop

Los datos del suelo se han obtenido de la Base de datos de suelos de CyL del ItaCyl. AquaCrop necesita también que se definan los parámetros de cultivo. Es necesario que se asuman algunos aspectos (parámetros de cultivo), antes de hacer las simulaciones como son por ejemplo, el emplear el mismo cultivo para todos los marcos (cebada y trigo en secano), no considerar capa restrictiva en el suelo o evitar la senescencia temprana de la cubierta.



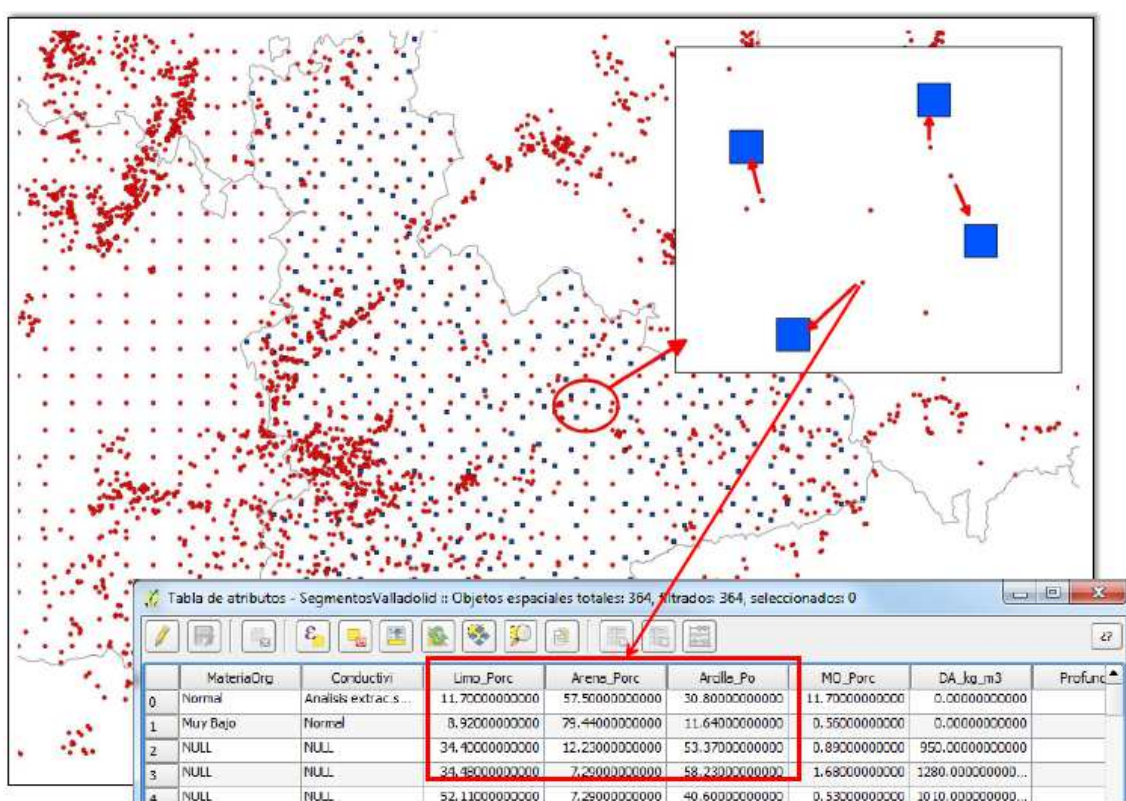
**Fig. 3.** Base de datos de suelo de Castilla y León del ItaCyl.

Los parámetros de cultivo son necesarios para evitar obtener valores nulos de rendimiento.

| Growth Stages                                | Length<br>days | Date       |
|--|----------------|------------|
| From day 1 after sowing.....                 |                | 15 October |
| to emergence..... 15 .....                   | 15             | 30 October |
| to maximum canopy cover..... 216 .....       | 216            | 19 May     |
| to maximum rooting depth..... 216 .....      | 216            | 19 May     |
| to start of canopy senescence..... 247 ..... | 247            | 19 June    |
| to maturity..... 268 .....                   | 268            | 9 July     |
| to flowering..... 216 .....                  | 216            | 19 May     |
| Length building up HI..... 49 ..... end      | 49             | 7 July     |
| Duration of flowering..... 25 .....end       | 25             | 13 June    |

| Growth Stages                                | Length<br>days | Date        |
|--|----------------|-------------|
| From day 1 after sowing.....                 |                | 5 November  |
| to emergence..... 23 .....                   |                | 28 November |
| to maximum canopy cover..... 166 .....       |                | 20 April    |
| to maximum rooting depth..... 166 .....      |                | 20 April    |
| to start of canopy senescence..... 212 ..... |                | 5 June      |
| to maturity..... 228 .....                   |                | 20 June     |
| to flowering..... 176 .....                  |                | 30 April    |
| Length building up HI..... 36 .....          | end            | 5 June      |
| Duration of flowering..... 20 .....          | end            | 20 May      |

**Fig.4** Parámetros de cultivo empleados.



**Fig.5.** Asignación de muestras a cada segmento.

Ejecución del sistema de predicción en cada fase del proyecto:

- En esta 1ª Fase, la ejecución del modelo se realizó, en 3.445 ubicaciones de Castilla y León, diariamente, de tal forma que representó la situación de todas las comarcas agrarias de la Comunidad de Castilla y León. Se utilizaron equipos con sistema operativo Linux Ubuntu Server y las librerías WINE para ejecutar el run time de AquaCrop que sólo está disponible para Windows.
- El modelo agronómico se ejecutó diariamente teniendo en cuenta las condiciones climáticas acaecidas hasta la fecha de emisión de la predicción y hasta la fecha de

recolección (1 de julio) suponiendo que las condiciones climáticas que pudieran darse eran las 11 series de datos climáticos de las que se disponía y que fueron utilizadas. En consecuencia, se obtuvieron 11 posibles cosechas finales que se agruparon en tres valores estadísticos: la media, el primer cuartil (escenario moderadamente seco) y tercer cuartil (escenario moderadamente húmedo).

## 2.4 Tareas de la 2ª FASE.

### 2.4.1 Migración del sistema de predicción a Linux Ubuntu Server en cluster.

- Se ha optado por una plataforma basada en Clúster y balanceo de carga sobre una plataforma hardware y un Framework de virtualización que provee 40 nodos virtuales, lo que permite asignar un nodo a cada proceso en ejecución de AquaCrop que se lance en paralelo, lo cual reducirá el tiempo necesario para la ejecución del sistema de predicción, debido a que el número de datos a procesar es muy elevado lo que haría inviable y poco recomendable el uso de recursos más limitados.
- En esta 2ª Fase coincidiendo con la temporada de cosechas 2015-2016 se hizo necesario añadir un mayor número de estaciones de datos meteorológicos. Esto implicaba aumentar la capacidad de cálculo del hardware informático empleado y cambiar también la manera de realizar los cálculos. Se pasó de un sistema de cálculo basado en segmentos con pocas estaciones como fuente de datos a un sistema basado en puntos de rejilla que debería cubrir toda el área de Castilla y León, lo cual implicaba un aumento significativo en la capacidad de cálculo necesaria. Se pensó en una arquitectura basada en clúster Linux con sistema operativo Ubuntu Server v.14. utilizando 28 nodos. Se realizaron varios Shell-scripts y una aplicación desarrollada en C para el procesamiento de datos y gestión del sistema de predicción. En cada nodo del clúster se ejecuta un Wine y un AquaCrop, asignando 23000 puntos de rejilla (lugares físicos) en un período de 1 año.

### 2.4.2 Migración y normalización de base de datos de SQLite a MySQL.

- Se trasladó la base de datos a MySQL con motor MyISAM no transaccional por lo que no hay posibilidad de modificación simultánea de datos. Se cambiaron los scripts de consulta a base de datos y se procedió a realizar la normalización de la misma.
- Hay varios tipos de ficheros de clima que se introducen en AquaCrop y que deben ser manejados por la base de datos. Hay 4 tipos de ficheros, donde se dan datos de: temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), pluviometría, evapotranspiración potencial (ETO) y ubicación.
  - Con predicción: los generamos mediante el script **generacropclima\_ECMWF.sh**
  - Sin predicción: los generamos mediante el script **gereracropclima.sh**

- Para depurar los datos meteorológicos diarios se ha elaborado una aplicación en la que se comparan de manera conjunta los datos de las estaciones automáticas de AEMET junto con las del ITACyL. Una vez depurados se elaboran los ráster a 2Km tanto de precipitación, temperatura y Evapotranspiración (calculada según Penman- Monteith).
- El modelo se ejecuta desde el 26 de septiembre de 2015 al día en curso, con los datos diarios del año en curso. Los diez días siguientes se corren con la predicción de dichas variables en los puntos de rejilla obtenidas con el modelo de Predicción de AEMET.
- A partir de décimo día se utilizan los datos diarios de 30 años anteriores (climatología). Es decir para cada punto de rejilla el modelo a partir del D+10 se corre 30 veces (serie 1984-2014. Desde el 1984 al 2004 solamente se utilizan datos de AEMET (tanto de estaciones pluviométricas como de estaciones automáticas por no existir datos de las estaciones ITACyL. Desde el 2004 a 2014 se utilizan las estaciones tanto del ITACyL como de AEMET. El modelo se corre con treinta años hasta final de campaña.

### 2.4.3 Creación de scripts de procesamiento de datos y gestión de cluster.

- Los pasos operativos básicos necesarios para lanzar el sistema de predicción son los siguientes:

- Se arranca el clúster Linux Ubuntu Server.
- Si se necesitan añadir/quitar nodos al clúster hay que darlos de alta/baja en:

**/agro/nodocentral/nodos**

- Se limpian con la ayuda de varios scripts datos antiguos y errores de ejecución:

**/agro/nodocentral/limpia.sh**

**/agro/nodocentral/limpialimpia.sh**

- Se arranca el encolador que asigna procesos a los nodos. En cada nodo se lanza Wine y AquaCrop:

**/agro/nodocentral/encola.sh**

- Al acabar el tiempo de ejecución de todos los nodos lanzo el script de pos proceso de datos obtenidos en cada modelo:

**/agro/nodocentral/tragina.sh**

Los datos quedan agrupados en:

**/datos/crop/wgtea**

- El sistema de log implementado, donde se pueden estudiar los posibles errores de ejecución o cualquier otra incidencia acaecida, está situado en:

**/agro/paponerenDATOS\_CROP/duelosyquebrantos**

- Si alguno de los nodos da un error de ejecución o se queda en un modo inestable puede realizarse la siguiente operativa:



- Se lanza el comando de consola: **kill -9 PID** (sustituyendo PID por su valor correspondiente)
- **PID** es el número de proceso relativo al nodo con errores que obtenemos de: **/agro/nodocentral**



**Fig.6.** Clúster de equipos inicial de pruebas con Linux Ubuntu Server en Delegación de CyL.

- Principales Scripts, programas y aplicaciones creados para gestión del clúster, carga de datos, pos proceso y otras funciones diversas:
  - Programas para Climatología antigua: Preparación de climatología 30 años. Es la preparación de datos diarios de los 30 años anteriores al año agrícola en curso. Hay dos fuentes de datos que son datos de ITACyL y de AEMET. En AEMET solo se alimenta de datos de estaciones automáticas a partir de 2004. Desde 2004 hacia atrás, automáticas y red termopubliométrica. Se han desarrollado scripts y aplicaciones en C que se han clasificado y ordenado en diferentes repositorios.
    - climapre2004 (scripts y aplicaciones en C para petición de datos a la base de datos ORACLE de AEMET y obtención de variables derivadas externas que no existan en la base de datos)
    - climafrom2004 (scripts y aplicaciones en C para petición de datos a la base de datos ORACLE de AEMET y de un servicio REST para descarga de datos del servidor de climatología de ITACYL y obtención de variables derivadas externas que no existan en las bases de datos)
  - Programas para Climatología reciente: Preparación de la climatología del año en curso que se rehace cada día porque cada día hay un día más y sus fuentes de datos son las mismas que en climatología antigua. Es esencial utilizar una aplicación para el control de la calidad de los datos asimilados. Se ha desarrollado una aplicación, interfaz gráfica de monitorización y vigilancia de calidad en la asimilación de datos. Los scripts y aplicaciones desarrollados se encuentran en el repositorio **climaencurso**.
    - Climaencurso (scripts y aplicaciones en C para petición de datos a la base de datos ORACLE de AEMET y de un servicio REST para descarga

de datos del servidor de climatología de ITACYL y obtención de variables derivadas externas que no existan en las bases de datos)

- Desarrollo de aplicaciones para gestión y planificación de tareas en clúster:
  - Aplicaciones para instalación del clúster
    - /dadealta1ejecutor1.sh (Sirve Para instalar el software que tiene que correr en cada nuevo nodo y registrarlo como nodo activo del clúster). Una vez dado de alta un ejecutor o nuevo nodo el sistema funciona autónomamente y queda en espera. Empezará a procesar cuando reciba el flag de inicio.
    - /nuevo\_winenea1ejecutor.sh (Es el Instalador de las aplicaciones en los nodos del clúster).
    - /nuevo\_winenea1ejecutorSSHPASS.sh (Es una alternativa de nuevo\_winenea1ejecutor.sh, pero sin seguridad ó intercambio de credenciales de seguridad con los nodos del clúster).
    - /paponer\_en\_nodos/agro/clúster/ y /paponer\_en\_nodos/ACsaV40 son los repositorios de las aplicaciones que se instalarán en cada nodo del clúster.
    - compruebaencendidos.sh (Comprueba que los nodos están en funcionamiento antes de enviarles la instalación de winenea.sh y de parseasalida.sh)
    - winenea.sh (Arranca un proceso de vigilancia que queda a la espera de órdenes de trabajo, corrigiendo errores, recopilando resultados y enviándolos al nodo central, arrancando el propio Aquacrop, cosechando sus output y almacenando resultados)
    - parseasalida (Es una aplicación hecha en C para convertir los outputs de AquaCrop en formato adaptado a ingesta en MySQL)
    - Cron.txt es la tabla que usa el planificador para arrancar ó vigilar si está activo **winenea.sh** cada minuto.
  - Aplicaciones para la gestión del clúster
    - Los nodos se encienden manualmente uno a uno.
    - Ante cualquier contingencia previa del nodo se utilizan los scripts de limpieza.
    - /agro/nodocentral/limpia.sh (script que limpia y alerta de posibles malas ejecuciones en el nodo central)
    - /agro/nodocentral/limpialimpia.sh (igual que el anterior pero borra todo y no alerta)



- /agro/nodocentral/arrancacrones\_nodos.sh (arranca el nodo y lo deja en modo espera)
- Nodos.txt (aquí se declaran los nodos que se van a usar)
- /agro/ nodocentral /tragina.sh (distribuye el trabajo y genera el fichero de intercambio para ingesta en base de datos)
- /agro/ nodocentral /shutdown\_nodos.sh (apaga los servidores)
- /agro/ nodocentral /paracrones\_nodos.sh (detiene los nodos)
- Desarrollo de scripts y aplicaciones para pruebas y testeo
  - /agro/ nodocentral /encola (script accesorio de prueba y testeo)
  - /agro/ nodocentral /limpiayencola.sh (script accesorio de prueba y testeo)
  - /agro/ nodocentral /albertiza.sh(conversión formato MySQL a SQLITE)
- Desarrollo de aplicaciones para la interpolación de puntos discretos a puntos de rejilla dentro de la climatología.
  - /agro/rasclima/ Repositorio donde se encuentran los programas de interpolación de todas las climatologías a puntos de rejilla. Algunos de estos son:
    - climarasterCSVOLD.sh: Mete el clima anterior al 2004 en el climarasterCSV que a su vez mete la climatología ya rasterificada en MySQL..
    - climarasterCSVENCURSO.sh (interpola el clima en curso). Los radios de búsqueda en metros se ven en las líneas 710-715 (función InverseDistanceToAPower)
    - climarasterENCURSO.sh (interpola el clima en curso), llama al anterior año por año.
- Desarrollo de aplicaciones para preparar y generar los inputs de Aquacrop.
  - /agro/generaCropclima/ (Repositorio de programas para generación de inputs de clima para AquaCrop)
    - generaCropclima.sh (Corre cada día y genera inputs de clima para AquaCrop )
    - generaCropclimaSIMULOdía1.sh(Igual pero solo para el día 1 del año agrario con el que se hace la calibración anual del modelo)
  - /agro/suelos/ Repositorio de programas para generación de inputs de suelos para AquaCrop)

- creaFilesSoil.sh (inserta datos de suelos así como inputs de suelos que necesita AquaCrop)
- /agro/ proyectos /
  - generaPROYECTOS (genera las plantillas .PRO de AquaCrop)
  - devuagrodia.sh

#### 2.4.4 Automatización del sistema de predicción.

Para simplificar el trabajo con el sistema de predicción se ha creado un script y planificado su ejecución periódica, donde se incluye toda la secuencia necesaria para el arranque y lanzamiento del sistema de predicción y el resto de aplicaciones auxiliares necesarias.

Se ejecuta el script de lanzamiento **hartodo.sh** por cron a las 16 h de cada día que está en (/home/cropjefe/agro/nodocentral):

**crontab -u (cropjefe) -l hartodo.sh**

Este script realizará todas las tareas necesarias que son :

- Carga de climatologíaaencurso.sh → dentro podemos configurar la s fechas.
- Inicia la rasterización de climaencurso:

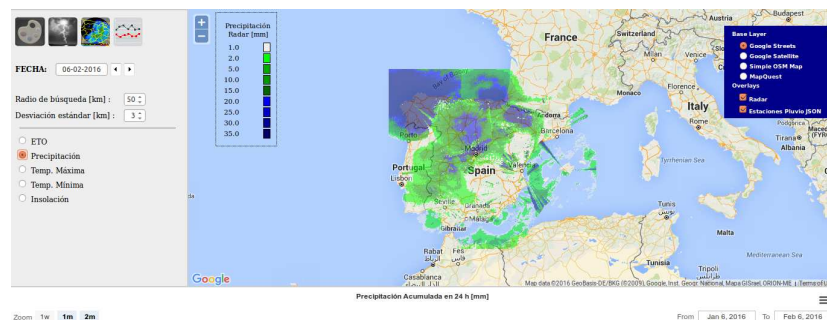
#### 2.4.5 Desarrollo de una aplicación para el control de calidad de datos asimilados.

- Se ha desarrollado un Visor web para la visualización y control de la calidad de los datos climatológicos de las estaciones automáticas de ITACyL y AEMET. El objetivo es evitar la entrada de datos erróneos en AquaCrop. Permite la visualización de los datos de estaciones y realiza un análisis estadístico que coteja cada dato de una estación con los de las estaciones próximas. Señala como “posibles datos erróneos” aquellos datos que se diferencian de la media del entorno en más de un número de sigmas (o desviaciones estándar). El radio de distancia que delimita el entorno lo fija el usuario de la web.
- Esta aplicación facilita al ITACyL la detección y posterior corrección de posibles fallos de sus estaciones.
- Falta completar el desarrollo de una interfaz que permita etiquetar los datos que se consideran erróneos con un flag de “erróneo” en la base de datos MySQL utilizada que alimenta AquaCrop, con el objeto de que dichos datos no sean tenidos en cuenta en las ejecuciones del modelo.
- En el desarrollo de la web se ha utilizado Javascript para la funcionalidad y la librería OpenLayers para la visualización de mapas e interactividad sobre los mismos con el

cliqueo para la visualización de datos de una estación. La visualización de las series temporales de datos ha sido realizada empleando la librería HighStocks. Se han programado en C los CGI's que sirven al vuelo las imágenes de radar ó rayos. Además leen la base de datos MySQL para generar posteriormente el fichero de datos referidos a un período en la representación de series temporales, ó los datos referidos a 1 día, con su correspondiente análisis estadístico para su visualización en el mapa.

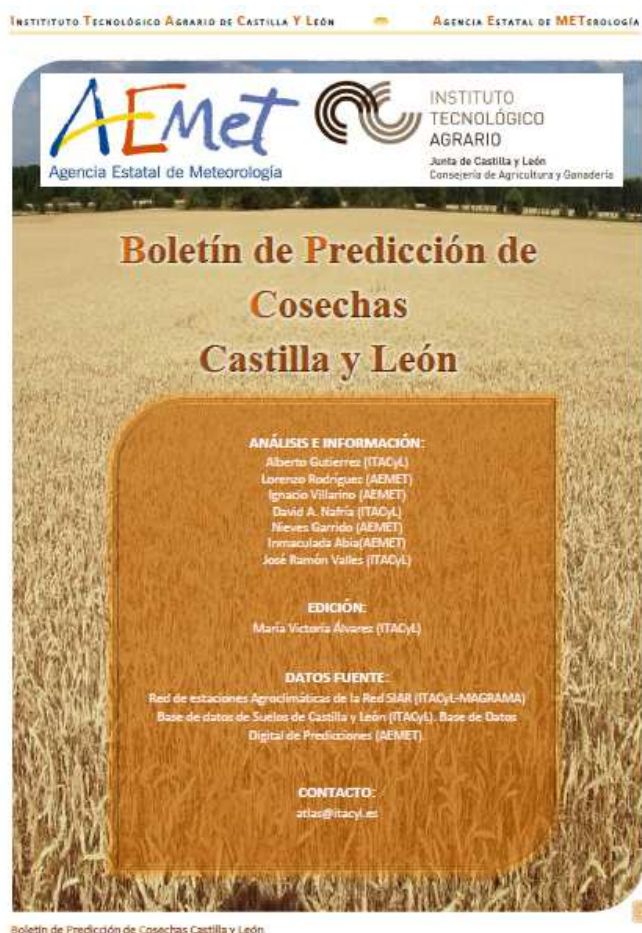
- Se puede acceder al visor en la dirección:

**172.24.129.149/aquacrop/dataControl11.html**



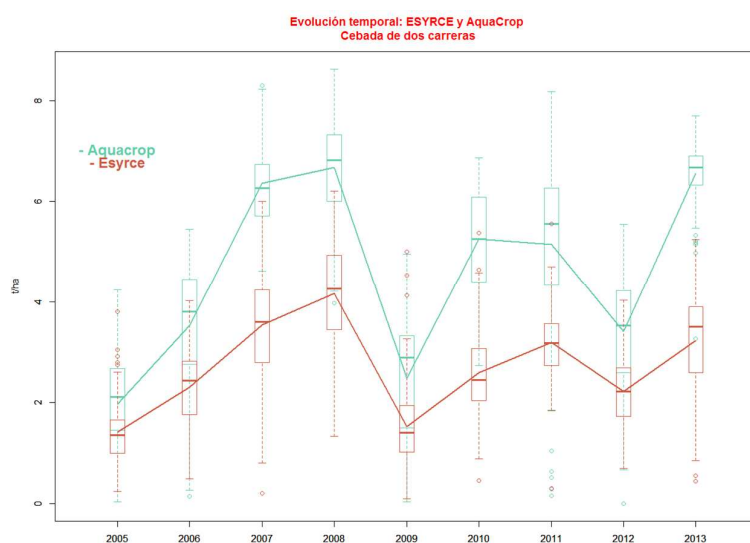
**Fig 7.** Visor web para control de calidad de datos meteorológicos.

## 2.5 Resultado final.



**Fig.8.** Primer Boletín de Predicción de cosechas de Castilla y León. Fecha: 16 de abril de 2015. (Se puede ver completo en documentos anexos).

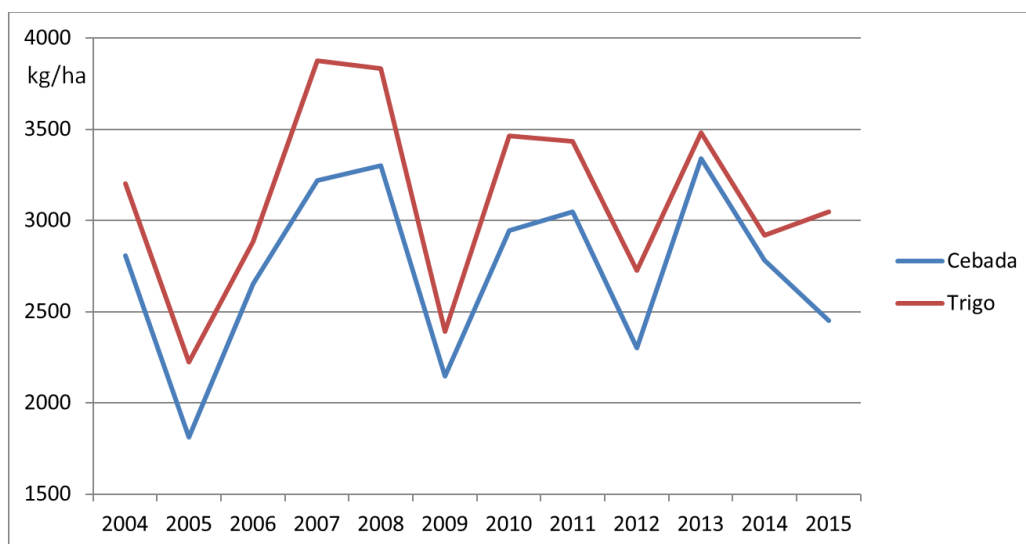
Como primer hito de la 1ª Fase del proyecto se fijó la elaboración del Primer boletín de predicción de cosechas que fue emitido en 2015. Los resultados que se mostraron fueron el resultado de la ejecución del modelo de simulación con datos de observación hasta el 13 de abril de 2015 y con datos históricos desde el 14 de abril hasta el 1 de julio. Posteriormente se han emitido otros boletines informativos. El contenido abarca aspectos complementarios sobre climatología (precipitación, temperaturas medias, máximas y mínimas, humedad,...etc.), predicción meteorológica, situaciones especiales observadas y resultados estadísticos obtenidos a partir del estudio de los resultados del sistema de predicción de cosechas.



La estimación final de la cosecha de 2015 se basa en la meteorología del año en curso y en los resultados obtenidos en los 11 años anteriores. Los datos de las 3.445 ubicaciones son agrupados a nivel comarcal y provincial haciendo medias ponderadas en función de la superficie de cultivo de cereal en cada lugar simulado.

**Fig. 9.** Comparación de estimaciones de rendimiento del modelo (AquaCrop) y datos de campo (Esysrce) antes de realizar la calibración estadística.

A la hora de mostrar los resultados, los datos se comparan con los resultados procedentes de la ejecución del modelo Aquacrop en los dos años pasados y con los medios de los últimos 11 años para facilitar la interpretación. De esta manera se obtienen previsiones de cosecha relativas respecto a la media y a los años anteriores.



**Fig.10.** Resultados de estimación de cosecha para la serie histórica 2004-2015. Realizados a 15 de junio de 2015. Nota: los datos de 2015 son proyecciones al no haber terminado la campaña.

La figura muestra la diferencia que existe entre los resultados agregados anuales obtenidos a través del modelo agronómico y los datos de aforo en campo en los lugares de muestreo en la provincia de Valladolid. Puede observarse como el modelo agronómico es capaz de representar la variabilidad anual de rendimientos aunque, debido a la configuración elegida, sobrestima la cosecha real. El ajuste estadístico (calibración) realizado a posteriori permite eliminar esta diferencia de escala de la estimación de rendimientos y por tanto proporcionar datos similares a los que se obtendrían en campo. En cuanto a la comparación de las cosechas modeladas a término con los datos oficiales: comisiones de estadística y ESYRCE. En la tabla siguiente se contrastan los rendimientos medios para toda Castilla y León ofrecidos por las comisiones de estadística y los rendimientos obtenidos mediante la metodología descrita para los dos cultivos considerados trigo y cebada en la serie temporal 2004-2015.

| Año  | COMPARACIÓN DE LAS COSECHAS MODELADAS A TÉRMINO CON<br>LOS DATOS OFICIALES DE LAS COMISIONES DE ESTADÍSTICA (JCyL) |            |               |            |
|------|--|------------|---------------|------------|
|      | Cebada (Kg/ha)   |            | Trigo (Kg/ha) |            |
|      | JCyL   | Simulación | JCyL          | Simulación |
| 2004 | 3.155  | 2.806      | 3.506         | 3.203      |
| 2005 | 1.590  | 1.813      | 1.975         | 2.226      |
| 2006 | 2.349  | 2.651      | 2.519         | 2.883      |
| 2007 | 3.902  | 3.219      | 4.212         | 3.877      |
| 2008 | 4.156  | 3.303      | 4.093         | 3.834      |
| 2009 | 1.907  | 2.145      | 2.289         | 2.390      |
| 2010 | 2.939  | 2.943      | 3.466         | 3.465      |
| 2011 | 3.181  | 3.049      | 3.876         | 3.432      |
| 2012 | 2.250  | 2.303      | 2.711         | 2.728      |
| 2013 | 3.756  | 3.341      | 4.054         | 3.483      |
| 2014 | 2.553  | 2.780      | 3.145         | 2.920      |
| 2015 | 2.860  | 2.450      | 3.278         | 3.047      |

**Fig. 11** Comparación del rendimiento obtenido mediante la metodología de predicción de cosechas y el estimado por las comisiones de estadística para ambos cultivos.

Como se puede observar la máxima diferencia entre ambos rendimientos se da para la cebada en el año 2008. No obstante la diferencia de rendimiento medio para toda la serie temporal es de 150 Kg/ha en el caso de la cebada y 136 Kg/ha para el trigo.

Se comparan los rendimientos medios obtenidos para toda Castilla y León mediante la metodología de predicción de cosechas y los datos recogidos en las memorias ESYRCE que están disponibles al año siguiente de la cosecha. La mayor diferencia entre los rendimientos se da en la cebada para el año 2008. Sin embargo, en este caso la diferencia promedio para la cebada se sitúa en los 93 Kg/ha y en 143 Kg/ha para el trigo.

| COMPARACIÓN DE LAS COSECHAS MODELADAS A TÉRMINO CON<br>LOS DATOS OFICIALES DE ESYRCE |                |            |               |            |
|--|----------------|------------|---------------|------------|
| Año  | Cebada (Kg/ha) |            | Trigo (Kg/ha) |            |
|  | ESYRCE         | Simulación | ESYRCE        | Simulación |
| 2004   | 3.085          | 2.806      | 3.471         | 3.203      |
| 2005   | 1.624          | 1.813      | 2.323         | 2.226      |
| 2006   | 2.591          | 2.651      | 2.775         | 2.883      |
| 2007   | 3.723          | 3.219      | 4.053         | 3.877      |
| 2008   | 4.122          | 3.303      | 4.207         | 3.834      |
| 2009   | 1.947          | 2.145      | 2.417         | 2.390      |
| 2010   | 2.858          | 2.943      | 3.284         | 3.465      |
| 2011   | 3.362          | 3.049      | 3.854         | 3.432      |
| 2012   | 2.267          | 2.303      | 2.922         | 2.728      |
| 2013   | 3.422          | 3.341      | 3.930         | 3.483      |
| 2014   | 2.407          | 2.780      | 3.049         | 2.920      |
| 2015   | 2.507          | 2.450      | 2.920         | 3.047      |

**Fig.12.** Comparación del rendimiento obtenido mediante la metodología de predicción de cosechas y el obtenido por ESYRCE para ambos cultivo.

Los Boletines de predicción de cosecha emitidos con los resultados obtenidos, a lo largo de la campaña 2014/2015 fueron 5, que sólo circularon internamente dentro de la Consejería de Agricultura y Ganadería. Los boletines se emitieron con periodicidad quincenal entre el 15 de abril y el 15 de junio. El boletín pretende ser la herramienta de difusión de los resultados obtenidos a través de Internet. Se trata de un documento PDF con los siguientes contenidos:

1. Resumen agroclimático de la campaña en curso, haciendo especial hincapié en las novedades acaecidas desde la emisión del boletín anterior. Se incluyen en éste resumen mapas climatológicos de la campaña en curso.
2. Predicción de rendimientos. Se trata del núcleo central del boletín, en este apartado se describen los resultados provinciales de rendimientos medios esperados y se muestran mapas comarcales con información de variación de rendimientos respecto a la media.
3. Estimación de superficies y producción: A través de los datos facilitados por la Consejería de Agricultura y Ganadería a partir de datos de las declaraciones de ayudas de la PAC, se realiza una estimación de la superficie sembrada de cada cultivo y se hace una estimación de la producción total de grano por provincias.
4. Avance de predicción para los próximos días: Con los datos de AEMET se realiza una proyección de cómo serán las próximas dos semanas y los efectos que las condiciones meteorológicas tendrán sobre las estimaciones de rendimientos realizadas en cada boletín. La predicción a 15 días ha demostrado ser muy efectiva a la hora de analizar tendencias que acaban teniendo impactos sobre la producción final.

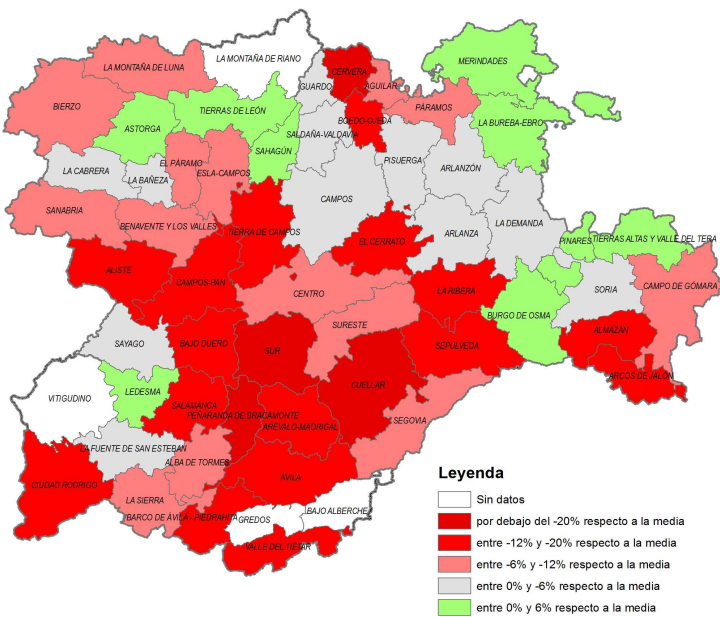
## 2.6 Aplicación práctica.

- Hacer predicciones comarcales y municipales de rendimientos de trigo y cebada.

| RENDIMIENTO TRIGO DE SECANO (kg/ha) |                         |       |                 |       |  |
|-------------------------------------|-------------------------|-------|-----------------|-------|--|
| Provincia                           | Rendimientos históricos |       |                 | 2015  | Variación en 2015 (%) respecto a media 2004-2014 |
|                                     | 2013                    | 2014  | Media 2004-2014 |       |  |
| Ávila                               | 2.516                   | 1.254 | 2.108           | 2.043 | -3   |
| Burgos                              | 4.495                   | 4.336 | 4.240           | 4.188 | -1   |
| León                                | 2.389                   | 2.303 | 2.255           | 2.325 | 3  |
| Palencia                            | 3.251                   | 3.091 | 3.109           | 3.032 | -2   |
| Salamanca                           | 3.044                   | 2.335 | 2.525           | 2.338 | -7   |
| Segovia                             | 3.196                   | 1.979 | 2.571           | 2.097 | -18  |
| Soria                               | 3.157                   | 2.376 | 3.014           | 2.978 | -1   |
| Valladolid                          | 3.654                   | 2.458 | 2.863           | 2.826 | -1   |
| Zamora                              | 2.930                   | 2.350 | 2.512           | 2.567 | 2  |
| CyL                                 | 3.483                   | 2.920 | 3.131           | 3.047 | -3   |

**Fig. 13.** Ejemplo de resultados de estimación de rendimientos de trigo realizados en el boletín nº 5 de 15 de junio de 2015.

- Producción de mapas de predicción de cosecha y publicación a través de internet en un visor Web para facilitar su consulta.



**Fig.14.** Ejemplo de resultados de variación relativa de los rendimientos esperados en 2015 respecto a los rendimientos medios comarcales para el cultivo de CEBADA SECANO realizados en el boletín nº 5 de 15 de junio de 2015.

También será de utilidad en un futuro el uso de los datos obtenidos por el modelo en otros estudios, mapas e informes estadísticos de otras áreas.



### 3 Conclusiones.

Los resultados y la valoración hecha de cada boletín a lo largo de 2015 han propiciado que el interés de este proyecto tanto dentro de la Junta de Castilla y León como en AEMET se vea reforzado. Por ello se han identificado una serie de puntos en los que actualmente se trabaja y que se están estudiando y probando de cara a mejorar la calidad de las estimaciones realizadas una vez finalizada la 1ª Fase:

- Hacer predicciones comarcales o municipales.
- Posibilidad de utilizar otros modelos agronómicos en un *ensemble*.
- Interpolar datos climáticos.
- Incorporar más datos de estaciones de AEMET.
- Interpolar datos de suelos y mejorar su uso en la calibración.
- Producir mapas de predicción de cosecha y publicarlos a través de internet en un visor Web.

### 4 Extensiones del proyecto: 2ª Fase

En la 2ª fase del proyecto se han realizando las tareas que se describen a continuación:

- El número de escenarios climáticos usados para realizar la estimación se multiplica por tres al usar datos desde 1984. Los escenarios climáticos se utilizan para hacer proyecciones hasta el final de la campaña en el momento de ejecución del modelo. Con esta modificación se pueden realizar estadísticas más robustas sobre las probabilidades de ocurrencia de distintos rendimientos que anteriormente no son posibles con una serie corta. Esta modificación implica extender los escenarios climáticos fuera del rango de existencia de datos de la Red de Estaciones del ITACyL e incorporar datos de la base de datos climática de AEMET. El proceso es complejo porque las estaciones de AEMET no están equipadas con toda la instrumentación necesaria para hacer un cálculo directo de la Evapotranspiración de referencia que es uno de los parámetros de entrada que requiere Aquacrop.
- El número de estaciones que se usaban se se multiplica por un orden de magnitud de tres, especialmente en pluviometría, al incorporar todas las estaciones automáticas de AEMET. Esto permite reflejar mejor las precipitaciones locales que ocurren en la primavera vinculadas a fenómenos convectivos.
- Se procede con la ejecución en rejilla. En vez de simularse el rendimiento en un punto cada 5 km, se pasa a una ejecución en rejilla de 2 km. Esto supone incrementar en un



orden de magnitud de 6 el número de puntos de los que se van a obtener resultados de estimación de rendimientos.

- Los datos meteorológicos y de suelos pasan a ser asignados a cada punto de la rejilla mediante técnicas geoestadísticas de interpolación. De esta manera se consigue un producto más homogéneo y robusto. Actualmente ya se han construido ficheros de rejilla con los datos de suelo, y se han seleccionado las ecuaciones para la interpolación de cada variable climática diaria.
- Se realiza la incorporación efectiva de 15 días de predicción en la ejecución del modelo. En 2015 los datos de predicción para los próximos días se incluían a título informativo como un pronóstico. A partir de 2016, se adapta esta nueva funcionalidad al sistema de predicción, los datos de los próximos 15 días se incorporan en la ejecución del modelo como si se tratase de datos observados, aquilatando de esta manera en las cifras de predicción toda la capacidad predictiva de los modelos meteorológicos operativos actuales.
- Las modificaciones planteadas mejoran la robustez del sistema de predicción y suponen un cambio de marco que permitirá afrontar en el futuro mejoras en la caracterización del cultivo y su fenología.
- Las tareas de esta 2ª Fase precisan de mayores recursos computacionales. El sistema de predicción se ha migrado a una nueva plataforma cluster-Linux (S.O. Ubuntu Server V.14) con 40 nodos operativos, donde está en producción. La plataforma antigua se destina a benchmarking y desarrollo de nuevas versiones.
- Durante la campaña de 2016 se han elaborado y difundido a través de internet al público en general, los boletines quincenales con gran aceptación por parte de las asociaciones agrarias y gran repercusión en los medios de comunicación por la novedad del producto.
- En la actualidad se pretende ampliar el proyecto de predicción de cosechas con nuevas funcionalidades, nuevos cultivos y cálculos de estados fenológicos a través de los datos meteorológicos diarios.

## 5 Agradecimientos

Al personal del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León Alberto Gutiérrez, David A. Nafría y Miriam Fernández por su aportación a esta beca y en especial al personal de AEMET en la Delegación Territorial en Castilla y León, Nieves Garrido, Ignacio Villarino e Inmaculada Abia que han hecho posible mi formación con su trabajo y esfuerzo.

## 6 Bibliografía

Richard G.A., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 2006 FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>

Saxton K.E. 2006 Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 1569-1578.

Dobos, E., Carré, F., Hengl, T., Reuter, H.I., Tóth, G., 2006. Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.

Rodríguez J.A., 2009 *Inferencia Espacial de Propiedades Físico-Químicas e Hidráulicas de los suelos de Andalucía. Estudios en la Zona Zona no Saturada del Suleo*. Vol IX.

Hengl T. 2009. *Geomorphometry concepts software and applications*. ELSEVIER

Kabacoff R., 2011. *R in Action*. Manning Publications Co. ISBN:9781935182399.

Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., Fereres E., 2012. AquaCrop Reference Manual AquaCrop Version 4.0. <http://www.fao.org/nr/water/docs/>

## 7 Anexos

Boletín nº 1 de 2015:



### 1. Resumen agroclimatológico de la campaña agrícola 2014-2015

**E**l otoño se caracterizó por unas temperaturas extremadamente altas y por un volumen de precipitaciones muy superiores a lo normal, con un elevado número de días de precipitación. Esa situación permitió iniciar la siembra de cereales de invierno de forma adelantada pero también alargó el periodo de siembra hasta mediados de diciembre en las zonas con suelos más fuertes. Las condiciones de humedad y temperaturas suaves facilitaron una muy buena nacencia.

La precipitación, que superó en un 50% el valor promedio, dio un carácter general MUY LLUVIOSO, aunque en algunas zonas del centro y del nordeste su valoración fue de LLUVIOSO. Se resalta el alto número de días de precipitación apreciable, con un promedio de 40 días (valor que fue superado en los años 2002 y 1993). El mes más lluvioso fue noviembre y las zonas en las que se ha acumulado un mayor volumen de precipitación correspondieron a la vertiente Sur del Sistema Central de Ávila y de Salamanca, con valores que llegaron a superar los 700 l/m<sup>2</sup> al Sur de la Sierra de Gredos.

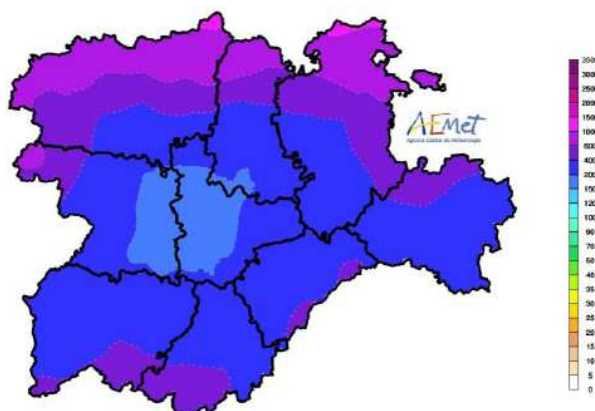
**E**l invierno en Castilla y León fue en general MUY FRÍO, con largos episodios de nieblas persistentes en la meseta y otros de nevadas importantes en el extremo Norte. Los cereales sufrieron estas situaciones de fríos extraordinarios pero no se llegaron a producir daños y se favoreció un fortalecimiento de las raíces.

El inicio de la campaña de cereales tenía unas previsiones excelentes, pero durante el invierno la precipitación, al contrario que la temperatura, tuvo un carácter muy heterogéneo. En la mayor parte de la Comunidad fue SECO o MUY SECO, llegando a ser EXTRAORDINARIAMENTE SECO en el Nordeste de la provincia de Salamanca. Esta situación ha llegado a producir estrés hídrico en muchas zonas pese a que los requerimientos hídricos del cultivo durante la fase vegetativa son relativamente bajos. Por el lado contrario, en el extremo norte el invierno fue MUY HÚMEDO, incluso EXTRAORDINARIAMENTE HÚMEDO en el nordeste de Burgos.

**L**os meses de marzo y abril se han caracterizado por la alternancia de altas y bajas presiones, dando como resultado un tiempo cambiante propio de la primavera. Los calores de las últimas semanas han producido un adelanto fenológico del cultivo significativo.

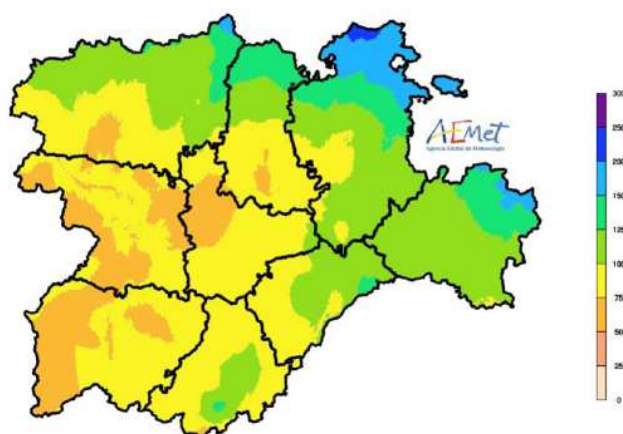
## PRECIPITACIÓN ACUMULADA DESDE OCTUBRE (l/m2)

Mes de MARZO del año 2015



## % DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA DESDE OCTUBRE

Mes de MARZO del año 2015



### RESUMEN

*Tras un periodo otoñal HÚMEDO y un invierno SECO la precipitación acumulada desde el mes de octubre hasta el mes de marzo es inferior a los 200 l/m2 en toda las zonas cerealistas y apenas llega a los 150 l/m2 en extensa áreas de Valladolid y Zamora. Esto hace que las precipitaciones acumuladas sean inferiores a lo esperado excepto en el norte y el este de la Comunidad y las cercanías del Sistema Central. En el tercio más occidental dichas precipitaciones han sido inferiores en un 25 % o más de lo normal para este periodo.*



## 2. Predicción de cosecha

**E**l método de predicción de cosecha implica la simulación del cultivo en todo el territorio de la región con datos de observación la Red de Estaciones agroclimáticas del ITACyL hasta la fecha de edición de este boletín, complementada, hasta la fecha de recolección (1 de julio), con series de los 11 años anteriores de las mismas estaciones. Este conjunto de 11 posibles cosechas finales para el año 2015 es resumido mediante 3 estadísticos: la media, el primer cuartil y el tercer cuartil. Por tanto la estimación final de la cosecha se basa en la meteorología del año en curso y en la experiencia climática de años pasados. No se emplea ningún tipo de método de predicción estacional debido a la baja calidad de estas estimaciones y a su escasa resolución espacial.

**L**os resultados que se muestran en este boletín son el resultado de la ejecución del modelo de simulación con datos de observación hasta el 13 de abril de 2015 y con datos históricos desde el 14 de abril hasta el 1 de julio.

**E**n general, la situación actual, con un final del invierno y principio de la primavera secos, muestra que la cosecha tanto de trigo como de cebada estará por debajo de la media en todas las provincias menos en Soria. Hay que tener en cuenta que en los momentos iniciales del ciclo de cultivo las situaciones de estrés no tienen un gran impacto sobre la cosecha final puesto que el nivel de actividad vegetal todavía es bajo. La reducción de cosecha respecto a la situación media es en términos generales de solo un 6% en cebada y un 3% en trigo. La previsión de cosecha final de cebada se ve más impactada por la situación actual de escasez hídrica en el inicio la fase vegetativa debido a una longitud de ciclo más corta. A nivel provincial destacan las reducciones en la cosecha final esperada sobre los datos medios en las provincias de Valladolid y Zamora y un incremento significativo en Soria.



**Tabla.1- Variación relativa de los rendimientos esperados en 2015 respecto a los medios comarcales para el cultivo de CEBADA SECA\***

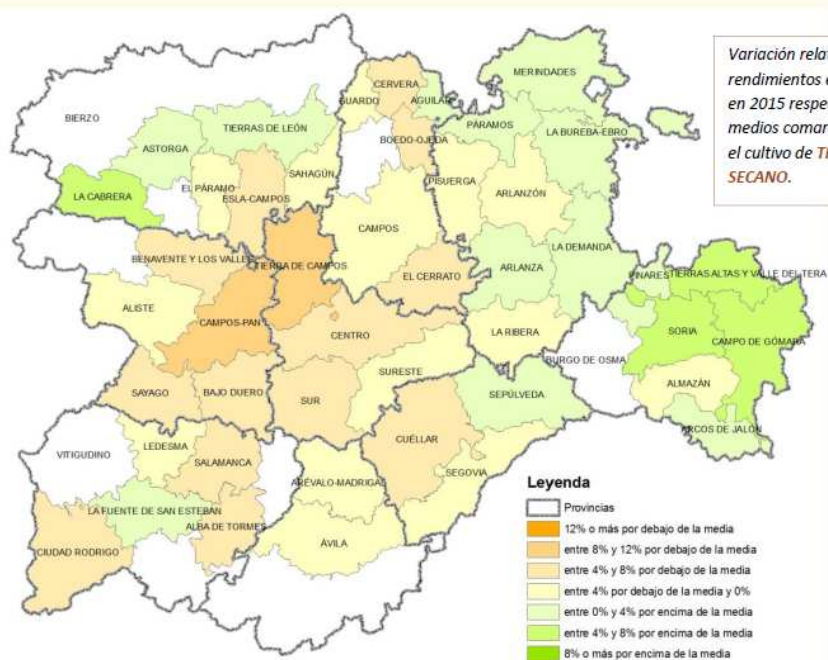
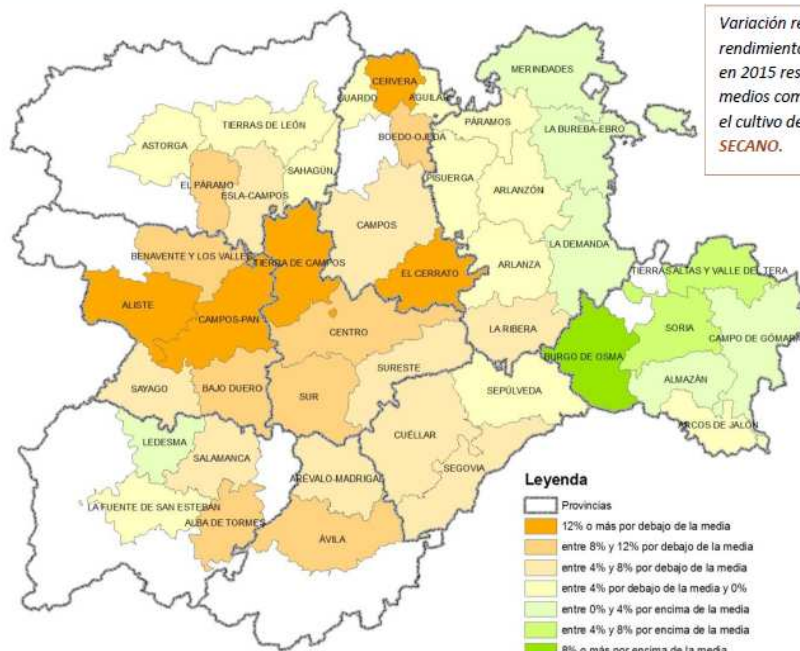
| PROVINCIA  | COMARCA                        | Variación en 2015 (%)<br>respecto al periodo<br>2003-2015 | Variación en 2015 (%)<br>respecto a 2014 |
|------------|--------------------------------|---|--|
| ÁVILA      | ARÉVALO-MADRIGAL               | -6  | 24                                       |
|            | ÁVILA                          | -10   | 12                                       |
| BURGOS     | ARLANZA                        | -2  | 0  |
|            | ARLANZÓN                       | -2  | 2  |
|            | LA BUREBA-EBRO                 | 3   | -1                                       |
|            | LA DEMANDA                     | 0   | 1  |
|            | LA RIBERA                      | -6  | 5  |
|            | MERINDADES                     | 2   | -2                                       |
|            | PÁRAMOS                        | -3  | -1                                       |
|            | PISUERGA                       | -4  | -5                                       |
| LEÓN       | ASTORGA                        | 0   | 0  |
|            | EL PÁRAMO                      | -11   | -10                                      |
|            | ESLA-CAMPOS                    | -8  | -8                                       |
|            | LA BAÑEZA                      | 3   | 8  |
|            | SAHAGÚN                        | -1  | -1                                       |
|            | TIERRAS DE LEÓN                | -2  | -4                                       |
| PALENCIA   | AGUILAR                        | -2  | -5                                       |
|            | BOEDO-OJEDA                    | -9  | -4                                       |
|            | CAMPOS                         | -5  | -5                                       |
|            | CERVERA                        | -16   | 6  |
|            | EL CERRATO                     | -13   | -5                                       |
|            | GUARDO                         | -3  | 0  |
| SALAMANCA  | SALDAÑA-VALDAVIA               | -5  | -2                                       |
|            | ALBA DE TORMES                 | -9  | -3                                       |
|            | LA FUENTE DE SAN ESTEBAN       | -3  | -5                                       |
|            | LEDESMA                        | 0   | 0  |
|            | PEÑARANDA DE BRACAMONTE        | -4  | 0  |
|            | SALAMANCA                      | -7  | -5                                       |
| SEGOVIA    | SAYAGO                         | -6  | 6  |
|            | CUÉLLAR                        | -7  | 7  |
|            | SEGOVIA                        | -5  | 5  |
|            | SEPÚLVEDA                      | -3  | 3  |
| SORIA      | ALMAZÁN                        | 0   | 10                                       |
|            | ARCOS DE JALÓN                 | 0   | 8  |
|            | BURGO DE OSMA                  | 11  | 4  |
|            | CAMPO DE GÓMARA                | 3   | 14                                       |
|            | SORIA                          | 6   | 18                                       |
|            | TIERRAS ALTAS Y VALLE DEL TERA | 6   | 20                                       |
| VALLADOLID | CENTRO                         | -8  | 1  |
|            | SUR                            | -11   | 8  |
|            | SURESTE                        | -5  | 4  |
|            | TIERRA DE CAMPOS               | -16   | -9                                       |
| ZAMORA     | ALISTE                         | -16   | -22                                      |
|            | BAJO DUERO                     | -10   | 7  |
|            | BENAVENTE Y LOS VALLES         | -9  | -13                                      |
|            | CAMPOS-PAN                     | -14   | -8                                       |

\*Sólo se muestran datos de las Comarcas en las que el cultivo es significativo

**Tabla.2- Variación relativa de los rendimientos esperados en 2015 respecto a los medios comarcales para el cultivo de **TRIGO SECANO**.**

| PROVINCIA  | COMARCA                        | Variación en 2015 (%)<br>respecto al periodo<br>2003-2015 | Variación en 2015 (%)<br>respecto a 2014 |
|------------|--------------------------------|---|--|
| ÁVILA      | ARÉVALO-MADRIGAL               | -3  | 44                                       |
|            | ÁVILA                          | -4  | 52                                       |
| BURGOS     | ARLANZA                        | 1   | 3  |
|            | ARLANZÓN                       | 0   | 1  |
|            | LA BUREBA-EBRO                 | 3   | 0  |
|            | LA DEMANDA                     | 2   | 3  |
|            | LA RIBERA                      | -1  | 16                                       |
|            | MERINDADES                     | 2   | -5                                       |
|            | PÁRAMOS                        | 0   | -1                                       |
|            | PISUERGA                       | -3  | -7                                       |
| LEÓN       | ASTORGA                        | 2   | 10                                       |
|            | BIERZO                         | -32   | -41                                      |
|            | EL PÁRAMO                      | -4  | -4                                       |
|            | ESLA-CAMPOS                    | -5  | -4                                       |
|            | LA BAÑEZA                      | 1   | 3  |
|            | LA CABRERA                     | 6   | 15                                       |
|            | SAHAGÚN                        | -2  | -1                                       |
| PALENCIA   | TIERRAS DE LEÓN                | 0   | -2                                       |
|            | AGUILAR                        | 1   | -2                                       |
|            | BOEDO-OJEDA                    | -5  | 0  |
|            | CAMPOS                         | -1  | -1                                       |
|            | CERVERA                        | -5  | 12                                       |
|            | EL CERRATO                     | -6  | 0  |
|            | GUARDO                         | -3  | 5  |
| SALAMANCA  | SALDAÑA-VALDAVIA               | -1  | 1  |
|            | ALBA DE TORMES                 | -8  | 1  |
|            | CIUDAD RODRIGO                 | -5  | -13                                      |
|            | LA FUENTE DE SAN ESTEBAN       | 0   | 0  |
|            | LEDESMA                        | -3  | 3  |
|            | PEÑARANDA DE BRACAMONTE        | -4  | 27                                       |
|            | SALAMANCA                      | -7  | 5  |
| SEGOVIA    | SAYAGO                         | -5  | 14                                       |
|            | VITIGUDINO                     | -25   | -42                                      |
|            | CUÉLLAR                        | -5  | 27                                       |
|            | SEGOVIA                        | -4  | 19                                       |
| SORIA      | SEPÚLVEDA                      | 1   | 15                                       |
|            | ALMAZÁN                        | -1  | 10                                       |
|            | ARCOS DE JALÓN                 | 0   | 2  |
|            | BURGO DE OSMÁ                  | 12  | 4  |
|            | CAMPO DE GÓMARA                | 6   | 16                                       |
|            | PINARES                        | 4   | 11                                       |
|            | SORIA                          | 5   | 18                                       |
|            | TIERRAS ALTAS Y VALLE DEL TERA | 6   | 9  |
| VALLADOLID | CENTRO                         | -5  | 10                                       |
|            | SUR                            | -7  | 23                                       |
|            | SURESTE                        | -1  | 20                                       |
|            | TIERRA DE CAMPOS               | -11   | 0  |
| ZAMORA     | ALISTE                         | -4  | -6                                       |
|            | BAJO DUERO                     | -5  | 13                                       |
|            | BENAVENTE Y LOS VALLES         | -5  | -8                                       |
|            | CAMPOS-PAN                     | -8  | -1                                       |

*\*Sólo se muestran datos de las Comarcas en las que el cultivo es significativo*



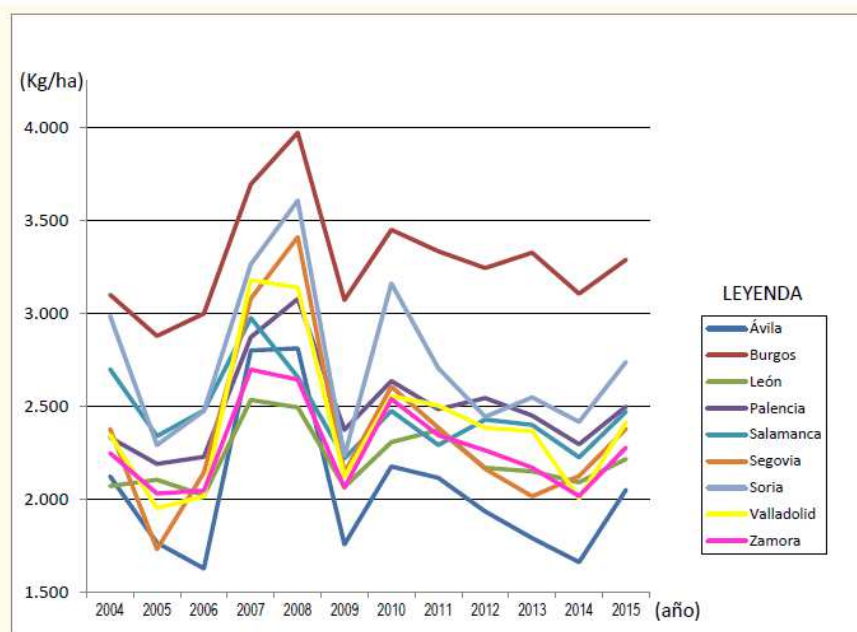


**Tabla.3 y 4- Rendimientos provinciales esperados en 2015 y variación respecto a resultados históricos para los cultivos de CEBADA y TRIGO de SECANO.**

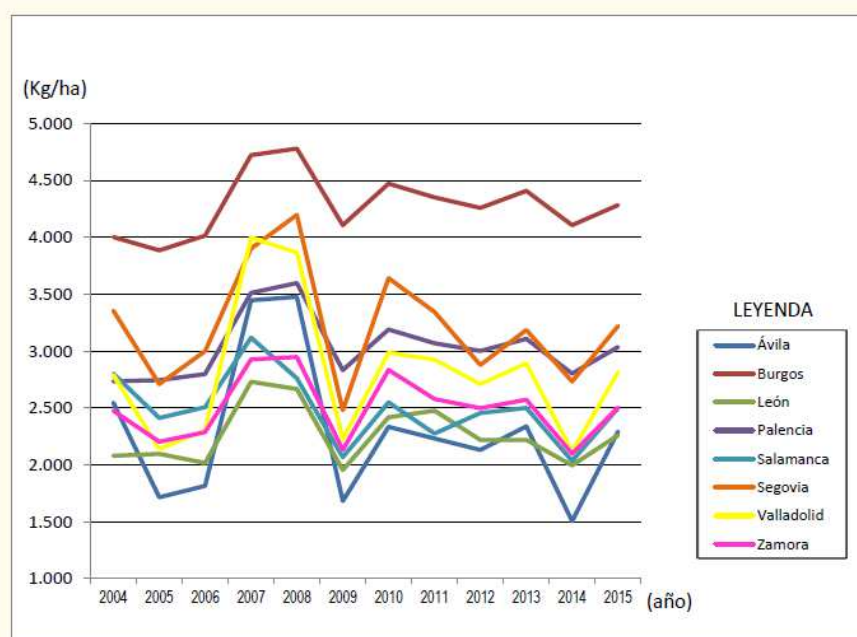
| RENDIMIENTO CEBADA DE SECANO (kg/ha) |                         |       |                 |                         |       |                         |                                       |  |
|--------------------------------------|-------------------------|-------|-----------------|-------------------------|-------|-------------------------|---------------------------------------|--|
| Provincia                            | Rendimientos históricos |       |                 | Estimaciones 2015       |       |                         | Variación en 2015 (%) respecto a 2014 | Variación en 2015 (%) respecto a media 2004-2014 |
|                                      | 2013                    | 2014  | Media 2004-2014 | 1 <sup>er</sup> Cuartil | MEDIA | 3 <sup>er</sup> Cuartil |                                       |  |
| Ávila                                | 2.490                   | 1.682 | 2.202           | 1.763                   | 2.052 | 2.151                   | 22                                    | -7   |
| Burgos                               | 3.762                   | 3.304 | 3.350           | 3.085                   | 3.288 | 3.391                   | 0                                     | -2   |
| León                                 | 2.533                   | 2.347 | 2.333           | 2.081                   | 2.217 | 2.340                   | -6                                    | -5   |
| Palencia                             | 3.122                   | 2.625 | 2.708           | 2.314                   | 2.499 | 2.590                   | -5                                    | -8   |
| Salamanca                            | 3.154                   | 2.550 | 2.630           | 2.316                   | 2.472 | 2.567                   | -3                                    | -6   |
| Segovia                              | 2.708                   | 2.264 | 2.519           | 2.133                   | 2.380 | 2.495                   | 5                                     | -6   |
| Soria                                | 2.819                   | 2.477 | 2.629           | 2.430                   | 2.739 | 3.073                   | 11                                    | 4  |
| Valladolid                           | 3.316                   | 2.437 | 2.704           | 2.068                   | 2.415 | 2.529                   | -1                                    | -11  |
| Zamora                               | 3.027                   | 2.397 | 2.589           | 2.055                   | 2.279 | 2.442                   | -5                                    | -12  |

| RENDIMIENTO TRIGO DE SECANO (kg/ha) |                         |       |                 |                         |       |                         |                                       |  |
|-------------------------------------|-------------------------|-------|-----------------|-------------------------|-------|-------------------------|---------------------------------------|--|
| Provincia                           | Rendimientos históricos |       |                 | Estimaciones 2015       |       |                         | Variación en 2015 (%) respecto a 2014 | Variación en 2015 (%) respecto a media 2004-2014 |
|                                     | 2013                    | 2014  | Media 2004-2014 | 1 <sup>er</sup> Cuartil | MEDIA | 3 <sup>er</sup> Cuartil |                                       |  |
| Ávila                               | 2.920                   | 1.576 | 2.367           | 1.765                   | 2.293 | 2.443                   | 46                                    | -3   |
| Burgos                              | 4.635                   | 4.285 | 4.251           | 4.059                   | 4.281 | 4.439                   | 0                                     | 1  |
| León                                | 2.567                   | 2.318 | 2.331           | 2.048                   | 2.261 | 2.446                   | -2                                    | -3   |
| Palencia                            | 3.481                   | 3.043 | 3.113           | 2.799                   | 3.035 | 3.148                   | 0                                     | -3   |
| Salamanca                           | 3.098                   | 2.323 | 2.649           | 2.343                   | 2.498 | 2.654                   | 8                                     | -6   |
| Segovia                             | 3.171                   | 2.173 | 2.696           | 2.259                   | 2.626 | 2.822                   | 21                                    | -3   |
| Soria                               | 3.135                   | 2.883 | 3.063           | 2.804                   | 3.219 | 3.497                   | 12                                    | 5  |
| Valladolid                          | 3.742                   | 2.525 | 3.001           | 2.264                   | 2.813 | 2.953                   | 11                                    | -6   |
| Zamora                              | 3.153                   | 2.485 | 2.680           | 2.244                   | 2.504 | 2.705                   | 1                                     | -7   |

**Gráfico. 1-** Evolución de rendimientos históricos calculados mediante el mismo método de simulación para el cultivo de **CEBADA DE SECAÑO**

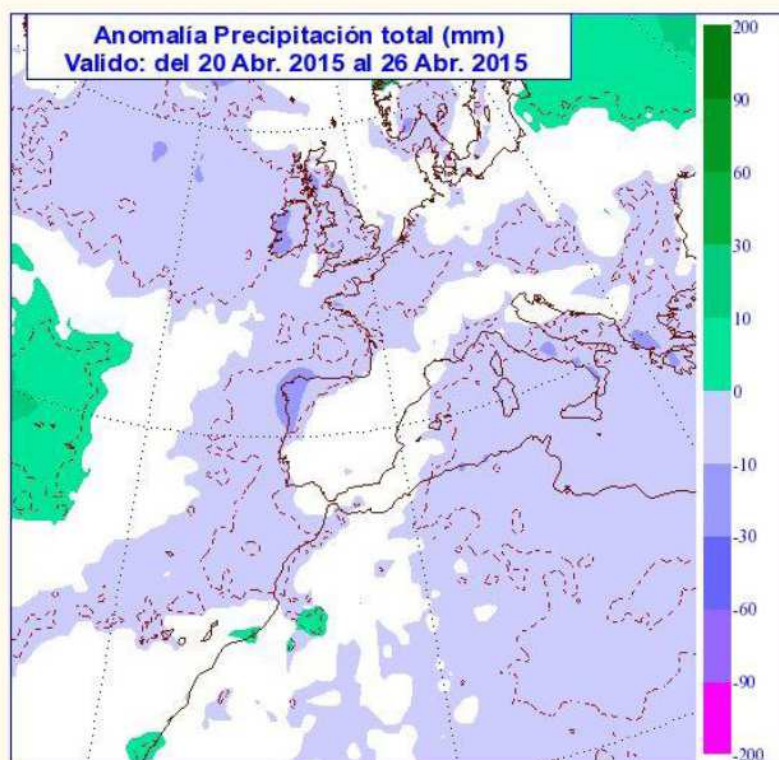


**Gráfico. 2-** Evolución de rendimientos históricos calculados mediante el mismo método de simulación para el cultivo de **TRIGO DE SECAÑO**



### 3. Avance de predicción para los próximos días

Desde el punto de vista meteorológico durante los próximos días continuaremos con una situación similar a estas últimas semanas con alternancia de paso de borrascas y situaciones de estabilidad, predominando el flujo del oeste. Las precipitaciones serán más importantes durante el próximo sábado y a partir de mediados de la próxima semana, dando como resultado, tal como muestra el mapa siguiente, precipitaciones acumuladas para la semana del 20 al 26 de abril que no se apartan de los valores NORMALES en Castilla y León. Es de esperar que estas precipitaciones ayuden a la incorporación del nitrógeno de cobertera al suelo.



Con las condiciones previstas, los cultivos deben evolucionar en términos medios minimizando el impacto del estrés hídrico de marzo pero manteniendo su efecto en la reducción final de la cosecha de en torno a un 5% respecto a la media. No se esperan por el momento unas lluvias que puedan compensar esta situación ni una prolongación del periodo seco.





INSTITUTO  
TECNOLÓGICO  
AGRARIO

Junta de Castilla y León  
Consejería de Agricultura y Ganadería

# Boletín de Predicción de Cosechas Castilla y León

## ANÁLISIS E INFORMACIÓN:

Alberto Gutiérrez (ITACyL)  
Lorenzo Rodríguez (AEMET)  
Ignacio Villarino (AEMET)  
David A. Nafra (ITACyL)  
Nieves Garrido (AEMET)  
Inmaculada Abia (AEMET)  
José Ramón Valles (ITACyL)

## EDICIÓN:

María Victoria Álvarez (ITACyL)

## DATOS FUENTE:

Red de estaciones Agroclimáticas de la Red SIAR (ITACyL-MAGRAMA)  
Base de datos de Suelos de Castilla y León (ITACyL). Base de Datos  
Digital de Predicciones (AEMET).

## CONTACTO:

atlas@itacyl.es